

**Liebe Leserin, lieber Leser,**

da meint man, schwarze Löcher faszinierten durch ihre fremdartigen Eigenschaften, wo es doch gerade ihre Eigenschaftslosigkeit ist, die sie auszeichnen! Sie hätten „keine Haare“, pflegte der Physiker John Archibald Wheeler (1911–2008) zu sagen<sup>1</sup>. Es stimmt, ein schwarzes Loch ist ein Muster an Vollkommenheit in einer unvollkommenen Welt.

Vor 50 Jahren, im September 1963, publizierte Roy Patrick Kerr, ein neuseeländischer Mathematiker, seine Berechnung des Einsteinschen Schwerefeldes im Außenbereich rotierender Sterne. Den Astronomen schien sie realitätsfern, wie alles, was Mathematiker hervorbringen: zu schön und zu vollkommen als dass es wahr sein kann. Vollkommenheit verstört. Wie sich schließlich herausstellte, beschreibt die Kerr-Lösung rotierende schwarze Löcher – und zwar *exakt*! So ein Gebilde wird durch nur zwei Angaben charakterisiert: Masse und Drehimpuls<sup>2</sup>. Mehr kann man nicht wissen. Das erinnert schon sehr an Platos (um 428–348 v. Chr.) Schattenwelt herumgeisternder Ideen ...

Im Sternbild Delphin gibt's wieder mal was Neues, eine „Nova“. Ein überhaupt nicht *neuer* Stern hat seine Helligkeit mal kurzzeitig um das 25 000-fache erhöht. Der Stern ist ein enger Doppelstern, und die entartete Komponente, ein weißer Zwerg, „verbrennt“ thermonuklear Material, das sich im Laufe der Jahre auf ihm abgelagert hat. Viel nützen wird das nicht. Der Begleiter liefert nach. Weitere reinigende Novaausbrüche sind vorprogrammiert. An denen werden sich kommende Astronomengenerationen ergötzen. 1967 flammte schon einmal eine Nova im Delphin auf.

Willkommen im „Land der Ideen“!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

---

<sup>1</sup>Wer das anstößig findet, ist keine Physiker.

<sup>2</sup>Zählen wir Ort und Geschwindigkeit mit, sind zehn Zahlenangaben notwendig, ein rotierendes schwarzes Loch *erschöpfend* zu beschreiben.

## Der Himmel im September

Venus ist Abendstern und nimmt dies durchaus wörtlich. Sie verschwindet von der Bildfläche noch vor Einbruch der astronomischen Dunkelheit.

Mars und Jupiter beehren die zweite Nachthälfte. In der zweiten Monatshälfte steht Jupiter bereits vor Mitternacht überm Horizont.

Am 22. September, 22:44 MESZ – leider 22 Minuten zu spät –, beginnt der astronomische Herbst. Von der Sonne aus gesehen steht die Erdachse in diesem Moment senkrecht zur Sichtlinie. Keine Hemisphäre der Erde ist, was die Beleuchtung anbelangt, benachteiligt.

## Platonische Physik

Als Albert Einstein (1879–1955) in seiner Weisheit, um die neuere Theorie vom Licht zu retten, sprich den Maxwellschen Elektromagnetismus, die altehrwürdigen Newtonschen Vorstellungen von Raum und Zeit über Bord warf, machte dies die neue Raum-Zeit zu einer physikalischen Realität, ausmessbar mit wirklichen Maßstäben und wirklichen Uhren und nicht bloß mit gedachten<sup>3</sup>. Dass dieser Gewinn an Wirklichkeitnähe im Falle starker Gravitationsfelder geradezu „Gespenstisches“ nach sich zieht, war nicht absehbar gewesen. Die Einsteinsche Theorie der Schwerkraft, die Allgemeine Relativitätstheorie (ART), begnügte sich ja zunächst mit kleinlichen Korrekturen an der Newtonschen Gravitationstheorie. Das war etwas für pingelige Himmelsmechaniker, nichts für Weltumstürzler. Was konnte schon schlimm sein an der kleinen Länge, auf die der Potsdamer Astronom Karl Schwarzschild (1873–1916) stieß, als dieser, sehr zur Verblüffung Einsteins, mit einer exakten Lösung der Einsteinschen Gleichungen aufwartete? Einstein hatte nicht so schnell mit einer Lösung seiner doch mathematisch vertrackten Gleichung gerechnet. Der kleine Radius – drei Kilometer für Sterne wie die Sonne und neun Millimeter für einen Planeten wie die Erde –, er sollte als Schwarzschildradius in die Wissenschaftsgeschichte eingehen. Dass irgendein Himmelskörper kleiner als dieser Radius sein könnte, diese Möglichkeit ins Auge zu fassen weigerte sich Einstein Zeit seines Lebens – und behinderte durch seine Autorität die Forschung auf diesem Gebiet. Kaum war der große Mann tot, boomte die Theorie der schwarzen Löcher.

---

<sup>3</sup>Man hätte auch an den liebgewordenen Vorstellungen von Raum und Zeit festhalten können, dies aber mit unbeobachtbaren „versteckten Parametern“ in der Theorie erkauf.

Fast ein halbes Jahrhundert nach Karl Schwarzschild machte sich der Neuseeländer Roy Kerr daran, dass Schwerfeld *à la* Einstein außerhalb eines rotierenden Sterns zu berechnen. Das ist nicht trivial! Die geometrische Struktur der Raum-Zeit wird ja durch die Masse-, genauer die Energie-Impuls-Verteilung bestimmt. Jedes drehende Etwas reißt die umgebende Raum-Zeit quasi mit, erzeugt einen raum-zeitlichen Wirbel. Im Falle der Erde hat man den übrigens nachgewiesen. Der Mitnahmeeffekt ist erwiesen, keine Spinnerei! Was der Mathematiker vorlegte, erwies sich als nichts Geringeres als die exakte ART-Lösung für ein rotierendes schwarzes Loch! Sie enthält zwei freie Parameter: Masse und Drehimpuls. Ich weiß nicht, wieviele Zahlenangaben notwendig wären, den menschlichen Körper<sup>4</sup> physikalisch *erschöpfend* zu beschreiben. Es dürften Myriaden sein.

Bisher kannte man etwas so Einfaches nur aus der Mikrowelt. Protonen beispielsweise gleichen einander wie . . . ein Proton dem anderen. Uns fällt kein Vergleich ein, es sei denn aus der Geometrie mit ihren *gedachten* Geraden, *gedachten* Kreisen, *gedachten* Kugeln. Ein Proton hat weder Haken noch Ösen, und anmalen kann man es auch nicht. Womit wir beim alten Plato wären und seinem Primat der Idee. Die Vielfalt der Erscheinungswelt, für Plato ist sie lediglich eine wenn auch unvollkommene, so doch wiedererkennbare Verwirklichung ewiger und unzerstörbarer Ideen. Wir erinnerten uns daran, weil wir selbst von dort stammen, so der Vater des Idealismus. Jede Holzkugel *hat*, ungeachtet ihrer Unvollkommenheit, der Mikrorauigkeit ihrer noch so fein polierten Oberfläche, *teil an der Idee der Kugel*. Gedankenkugeln unterscheiden sich *nur* im Radius. (Aus Atomen können Sie niemals eine absolut kugelige Kugel basteln.)

Da wir gerade beim Abschweifen sind: Goethe, der das Maßlose hasste und das Lösen von der sinnlich erfahrbaren Welt für eine Quelle des Bösen hielt, beklagte die zunehmende Abstraktion in der Naturforschung, ihre Mathematisierung<sup>5</sup>. (Was würde er wohl heute zum Abtauchen in virtuelle Welten sagen?) Die Worte aus Weimar, sie verhallten ungehört, und die Forschung hat nicht haltgemacht bei archetypischen Urphänomenen (wie der „Urpflanze“), sondern ist hinabgestiegen ins abstrakte Reich der Symmetrie und To-

---

<sup>4</sup>Um eine menschliche Puppe sich artgerecht bewegen zu lassen, kommt man mit etwa 1000 sog. Freiheitsgraden aus, wie ich las. Doch das ist nur der computeranimierte reduzierte Mensch.

<sup>5</sup>Goethe lamentiert in der Farbenlehre – nicht zu unrecht: „Es ist vieles wahr, was sich nicht berechnen lässt.“

pologie. Die Mathematik hat sich als die einzige Sprache erwiesen, mit der sich auch Alltagsfernes formal befriedigend ausdrücken lässt. Diese Preisgabe des ganzheitlichen Schauens im Prozess der Naturerkenntnis hat uns manche (technisch verwertbare) Einsicht beschert – aber auch gedankliche Probleme, womit wir wieder bei den Kerrschen Löchern wären.

Eigentlich sollte es uns nicht wundern. Verlassen wir die uns angemessene Welt, die sog. *Mesowelt*, versagt unsere am Alltag geschulte Erfahrung und wir stoßen zwangsläufig auf Unverständliches, im mikroskopisch Kleinen, wie im makroskopisch Großen. Das eigentlich Dumme ist, dass drei Kilometer für uns durchaus anschaulich sind. Eine Sonnenmasse hingegen ist bereits unvorstellbar, noch dazu, wenn sie in ein so kleines Gebiet gequetscht werden soll.

Und wir waren vorgewarnt! Lernten wir nicht in der Schule, dass alle Körper gleich schnell fallen, der massive Goldklumpen genauso schnell wie die Gänsefeder (im Vakuum)? Die Schwerkraft macht alles gleich. Allein die Masse zählt, sonst nichts. Schwarze Löcher sind Geschöpfe der Schwerkraft. Da das, was im Innern geschieht, sich nicht der Außenwelt mitteilen kann, reduziert sich alles auf Masse (= gravitative Ladung) und Drehimpuls. Das Gravitationsfeld *muss* für den Betrachter perfekt sein. Woher sollten „Dellen“ kommen? Es stimmt nicht, dass alles mit jedem zusammenhängt. Manche Dinge haben sich abgekoppelt.

Sind schwarze Löcher wirklich? Auf jeden Fall tun sie gut! Oder möchten Sie Auge in Auge mit einer „nackten“ Singularität leben? Gnädig verbirgt ein immaterielles Etwas, genannt Ereignishorizont, die Stelle unendlicher Massendichte. So etwas würde andernfalls die Schöpfung unberechenbar machen. Der Radius des Ereignishorizonts ist natürlich der Schwarzschildradius. Was im Innern eines schwarzen Lochs passiert, es ist nicht von Belang.

Sie tun nicht nur gut, sie sind auch effiziente Energiequellen, sofern sie rotieren! Eine Kerrsche Ergosphäre lässt sich anzapfen<sup>6</sup> – die Superlöcher in den Zentren der Radiogalaxien führen es vor! Von einem maximal schnell rotierenden schwarzen Loch können theoretisch 29% seiner Ruheenergie extrahiert werden. Zum Vergleich: Beim Verbrennen von Steinkohle werden ganze 0,00000003% in nutzbare Arbeit umgesetzt.

---

<sup>6</sup>Dazu muss das Gebilde elektrisch geladen sein. Ladung ist die dritte Eigenschaft, die ein schwarzes Loch aufweisen kann. Das war's dann aber auch schon. Sollte sich herausstellen, dass mehr als drei Zahlenangaben nötig sind, das „Unding“ zu beschreiben, wäre die ART erledigt!

Was passiert eigentlich, fällt ein Mensch in ein schwarzes Loch? Wird dieses lediglich um 70 kg schwerer? Wohin entschwinden die Myriaden an Bits, die uns ausmachen, das Körperliche wie das Gedankliche? Sind schwarze Löcher tatsächlich Aktenvernichter *par excellence*, also Entropieproduzenten? Solches Fragen ruft die Quantenphysik auf den Plan. Absolut schwarz kann so ein Loch nach ihrer Meinung dann doch nicht sein. Alles hat seine Grenzen. Und dort passiert es auch: Unter der enormen Schwerewirkung kommt es am Ereignishorizont vor, dass ein virtuelles Teilchenpaar, das für eine kleine Weile dem Vakuum entstieg ist, durch die Gezeiten getrennt wird. Fällt ein Partner ins Loch, muss der Überlebende weiter existieren. Ohne Kompanion gib's kein zurück ins Nichts. Uns Außenstehenden kommt es so vor, als gebiert das schwarze Loch ein Teilchen! Völlig schwarz kann es nicht sein! Doch damit verlassen wir bereits die klassische Physik.

Faszinierender als das Loch ohne Eigenschaften ist, was sich eventuell außerhalb des Ereignishorizonts abspielt! Drehimpulsarmen Stoff ist es erlaubt, ins schwarze Loch zu fallen, es zu füttern. Da selbst ein Millionen-Sonnenmassen-Loch nur wenige Millionen Kilometer groß ist, geschieht der Einfall binnen Wochen und Monaten. Vielleicht haben Sie davon gehört: Ein interstellares Wölkchen nähert sich mit zunehmender Geschwindigkeit dem vermuteten schwarzen Loch im Zentrum des Milchstraßensystems. In wenigen Monaten wird es relativ dicht (einige Tausend Schwarzschildradien) am Loch vorbeischießen. (Die Dinge ändern sich unastronomisch rasch!) Über das weitere Schicksal kann man nur spekulieren. Gezeitenkräfte könnten das Wölkchen zerreißen, eine dünne Atmosphäre aus heißem Gas es abbremsen. Verlöre dabei ein Teil des Gases an Drehimpuls, könnte dieser durchaus vom Loch verschluckt werden. Wegen der am Ereignishorizont unendlichen Rotverschiebung dauerte dieser Vorgang allerdings eine Ewigkeit, jedenfalls aus unserer Perspektive. Möchte man erfahren, was wirklich geschieht, müsste man sich schon selbst fallen lassen. Die Chancen stehen nicht schlecht: Im Falle eines Superlochs von Millionen von Sonnenmassen setzten Gezeitenkräfte dem forschenden Forscher erst im Innern des Ereignishorizonts schmerzhaft zu, sagt die Forschung.